

Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) EP 0 882 957 A2

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
09.12.1998 Patentblatt 1998/50

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>: G01F 23/284

(21) Anmeldenummer: 98109742.1

(22) Anmeldetag: 28.05.1998

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE  
Benannte Erstattungsstaaten:  
AL LT LV MK RO SI

• Lubcke, Wolfgang  
79585 Steinen (DE)  
• Gerst, Peter  
79576 Weil/Rhein (DE)  
• Lau, Jürgen  
79541 Lörrach (DE)

(30) Priorität: 05.06.1997 DE 19723646

(71) Anmelder:  
Endress + Hauser GmbH + Co.  
79689 Maulburg (DE)

(74) Vertreter:  
Schwepfänger, Karl-Heinz, Dipl.-Ing.  
Prinz & Partner GbR  
Manzingerweg 7  
81241 München (DE)

(72) Erfinder:  
• Flitsch, Carsten  
79713 Bad Säckingen (DE)

(54) **Verfahren zur Messung des Füllstands eines Füllguts in einem Behälter nach dem Radarprinzip**

(57) Zur Messung des Füllstands eines Füllguts in einem Behälter nach dem Radarprinzip werden mittels der oberhalb der höchsten vorkommenden Füllhöhe angeordneten Antenne eines Entfernungsmessgeräts Mikrowellen nach unten ausgestrahlt und reflektierte Mikrowellen empfangen. Im normalen Meßbetrieb werden die empfangenen Mikrowellen in dem Entfernungsbereich bis zu der dem Abstand der Antenne vom Behälterboden entsprechenden Leerdistanz ausgewertet, um die an der Füllgutoberfläche reflektierten Echowellen zu bestimmen, die Laufzeit der Echowellen zu messen und die Entfernung der Füllgutoberfläche von der Antenne aus der gemessenen Laufzeit zu berechnen. Um bei einem Behälter mit einem gekrümmten Behälterboden trotz der Mehrfachreflexionen der am Behälterboden reflektierten Mikrowellen den Leerzustand des Behälters mit Sicherheit zu erkennen, erfolgt dann, wenn in dem Entfernungsbereich bis zur Leerdistanz keine Echowellen festgestellt werden, die Auswertung in einem erweiterten Entfernungsbereich, und die in diesem erweiterten Entfernungsbereich jenseits der Leerdistanz festgestellten Echowellen werden der Leerdistanz zugeordnet.

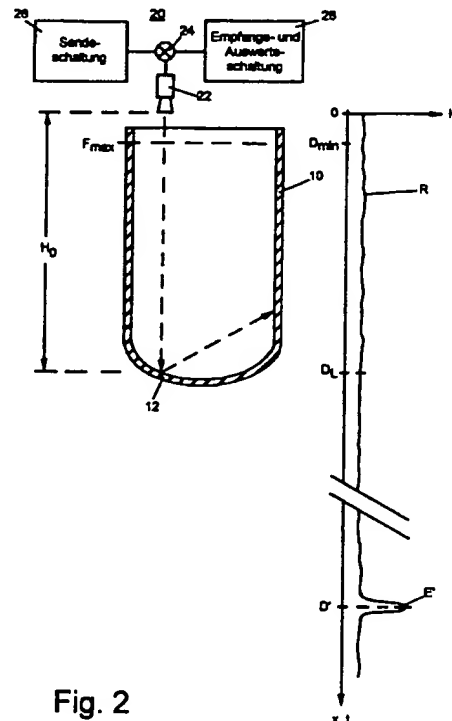


Fig. 2

EP 0 882 957 A2

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Messung des Füllstands eines Füllguts in einem Behälter nach dem Radarprinzip, bei welchem mittels der oberhalb des höchsten vorkommenden Füllstands angeordneten Antenne eines Entfernungsmessgeräts Mikrowellen nach unten ausgestrahlt und reflektierte Mikrowellen empfangen werden und die empfangenen Mikrowellen zur Bestimmung der an der Füllgutoberfläche reflektierten Echowellen, zur Messung der Laufzeit der Echowellen und zur Berechnung der Entfernung der Füllgutoberfläche von der Antenne des Entfernungsmessgeräts aus der gemessenen Laufzeit ausgewertet werden.

Der zu messende Füllstand im Behälter ist entweder die Füllhöhe, also die Höhe der Füllgutoberfläche über dem Behälterboden, oder das Füllgutvolumen. Das vorstehend angegebene bekannte Verfahren ergibt unmittelbar die Füllhöhe als die Differenz zwischen der bekannten Einbauhöhe der Antenne über dem Behälterboden und der gemessenen Entfernung der Füllgutoberfläche von der Antenne. Das Füllgutvolumen steht für jeden Behälter in einer eindeutigen Beziehung zu der Füllhöhe und ergibt sich daher aus der gemessenen Füllhöhe.

Wenn bei der Anwendung dieses Verfahrens der Behälter leer ist, werden die Mikrowellen anstatt an der Füllgutoberfläche am Behälterboden reflektiert. Dies verursacht kein Problem, wenn der Behälterboden eben ist. Die Mikrowellen werden in diesem Fall auf direktem Weg zur Antenne reflektiert, und ihre Laufzeit entspricht der Entfernung zwischen der Antenne und dem Behälterboden; diese Entfernung wird als Leerdistanz bezeichnet. Da die Leerdistanz die größte vorkommende Entfernung ist, braucht die Auswertung der empfangenen Mikrowellen im Entfernungsmessgerät nur in dem Entfernungsbereich zu erfolgen, der bis zu dieser Leerdistanz geht.

Wenn jedoch dieses Verfahren bei einem Behälter mit gekrümmtem Behälterboden, beispielsweise mit einem sogenannten Klöpperboden angewendet wird, werden die Mikrowellen bei leerem Behälter an dem gekrümmten Behälterboden wegen des von 90° verschiedenen Einfallswinkels nicht auf direktem Weg zu der Antenne reflektiert, sondern sie gelangen erst nach mehrfachen Reflexionen an den Behälterwänden zur Antenne. Die Laufzeit der Mikrowellen entspricht daher einer Entfernung, die wesentlich größer als die Leerdistanz ist. Wenn die Auswertung der empfangenen Mikrowellen nur in dem Entfernungsbereich erfolgt, der bis zur Leerdistanz geht, werden in diesem Fall überhaupt keine Echowellen festgestellt; das Entfernungsmessgerät zeigt daher nicht den Leerzustand des Behälters an, sondern einen Fehlerzustand.

Zur Lösung dieses Problems erfolgt bisher bei Behältern mit gekrümmtem Behälterboden die Auswertung der empfangenen Mikrowellen dauernd in einem

Entfernungsbereich, der sehr viel größer als die Leerdistanz ist. Allen gemessenen Laufzeiten der Echowellen, die zwischen der dem maximalen Füllstand (100%) entsprechenden kürzesten Laufzeit und einer in einem sehr kleinen Füllstand (beispielsweise 0,01%) entsprechenden Laufzeit liegen, wird der richtige Füllstand zugeordnet; allen größeren Laufzeiten wird ein Füllstand von 0% zugeordnet.

Ein Nachteil dieser bisher angewendeten Lösung besteht darin, daß immer ein sehr großer Zeit- bzw. Entfernungsbereich ausgemessen werden muß, also auch im normalen Meßbetrieb bei teilweise oder ganz gefülltem Behälter.

Aufgabe der Erfindung ist die Schaffung eines Verfahrens der eingangs angegebenen Art, bei dem im normalen Meßbetrieb bei einem teilweise oder ganz gefüllten Behälter mit gekrümmtem Behälterboden die Auswertung der empfangenen Mikrowellen auf den Entfernungsbereich beschränkt bleiben kann, der bis zur Leerdistanz geht, und bei dem dennoch der Leerzustand des Behälters mit Sicherheit erkannt und angezeigt wird.

Nach der Erfindung wird diese Aufgabe dadurch gelöst, daß im normalen Meßbetrieb die empfangenen Mikrowellen in dem Entfernungsbereich bis zu der dem Abstand der Antenne vom Behälterboden entsprechenden Leerdistanz ausgewertet werden, und daß dann, wenn in diesem Entfernungsbereich keine Echowellen festgestellt werden, die Auswertung in einem erweiterten Entfernungsbereich erfolgt und die in dem erweiterten Entfernungsbereich jenseits der Leerdistanz festgestellten Echowellen der Leerdistanz zugeordnet werden.

Bei Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist die Auswertung der empfangenen Mikrowellen zunächst immer auf den Entfernungsbereich beschränkt, der bei der Leerdistanz endet. Nur wenn in diesem Entfernungsbereich keine Echowellen festgestellt werden, was insbesondere bei leerem Behälter der Fall ist, erfolgt die Auswertung in dem erweiterten Entfernungsbereich. Wenn in diesem erweiterten Entfernungsbereich jenseits der Leerdistanz Echowellen festgestellt werden, steht fest, daß sie von Reflexionen an dem gekrümmten Behälterboden stammen und daß der Behälter leer ist. Wenn dagegen auch in dem erweiterten Entfernungsbereich keine Echowellen festgestellt werden, steht fest, daß ein Fehlerzustand besteht, der angezeigt werden kann.

Sobald wieder Echowellen in dem Entfernungsbereich festgestellt werden, der bis zur Leerdistanz geht, unterbleibt die Erweiterung des Entfernungsbereichs, die somit auf den relativ seltenen Sonderfall des leeren Behälters beschränkt wird.

Der erweiterte Entfernungsbereich wird mindestens so groß bemessen, daß darin alle Echowellen erfaßt werden, die an dem gekrümmten Behälterboden reflektiert werden und nach Mehrfachreflexionen an der Antenne eintreffen. Zur Vereinfachung kann der erwei-

terte Entfernungsbereich gleich dem maximalen Meßbereich des Entfernungsmessgeräts gemacht werden.

Der durch die Erfindung erzielt Vorteil tritt besonders deutlich in Erscheinung, wenn gemäß einer bevorzugten Ausführungsform zur Auswertung der empfangenen Mikrowellen deren Echoprofil in dem für die Auswertung vorgesehenen Entfernungsbereich aufgezeichnet wird. In diesem Fall ist die Erfassung der empfangenen Mikrowellen und die Aufzeichnung ihres Echoprofils für die weit überwiegende Anzahl von Meßvorgängen auf den verhältnismäßig kleinen Entfernungsbereich beschränkt, der bis zur Leerdistanz geht.

Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der folgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels anhand der Zeichnung. In der Zeichnung zeigen:

Fig. 1 schematisch eine Anordnung zur Messung des Füllstands nach dem Radarprinzip in einem Behälter mit gekrümmtem Behälterboden bei teilweise gefülltem Behälter und

Fig. 2 die Anordnung von Fig. 1 bei leerem Behälter.

Fig. 1 der Zeichnung zeigt einen Behälter 10 mit einem gekrümmten Behälterboden 12, beispielsweise einem sogenannten Klöpperboden. Der Behälter 10 ist bis zu einer Höhe F mit einem Füllgut 14 gefüllt. Als Füllstand im Behälter 10 wird entweder die Füllhöhe F oder das der Füllhöhe F entsprechende Volumen des Füllguts 14 bezeichnet. Bei einem Behälter, der über seine ganze Höhe einen gleichbleibenden Querschnitt hat, ist das Füllgutvolumen der Füllhöhe F proportional; bei Behältern, bei denen diese Voraussetzung nicht erfüllt ist, läßt sich der Zusammenhang zwischen der Füllhöhe F und dem Füllgutvolumen rechnerisch oder experimentell bestimmen und durch eine Kurve oder Tabelle darstellen. In jedem Fall genügt zur Bestimmung des Füllstands im Behälter die Messung der Füllhöhe F.

Bei dem in Fig. 1 dargestellten Behälter 10 erfolgt die Messung der Füllhöhe F durch ein mit Mikrowellen nach dem Pulsradarprinzip arbeitendes Entfernungsmessgerät 20. Das Entfernungsmessgerät 20 enthält eine Sende- und Empfangs-Antenne 22, die über eine Sende-Empfangs-Weiche 24 mit einer Sendeschaltung 26 und mit einer Empfangs- und Auswerteschaltung 28 verbunden ist. Die Sendeschaltung 26 erzeugt in periodischen Zeitabständen Ultraschallfrequenzimpulse, die der Antenne 22 zugeführt werden. Die Antenne 22 ist oberhalb der höchsten Füllhöhe  $F_{\max}$ , die im Behälter 10 vorkommen kann, so angeordnet, daß sie die von der Sendeschaltung 26 kommenden Ultraschallfrequenzimpulse in Form von Mikrowellen senkrecht nach unten abstrahlt und von unten kommende Mikrowellen empfängt. Die von der Antenne 22 empfangenen Mikrowellen, zu denen insbesondere die an der Oberfläche

16 des Füllguts 14 reflektierten Echowellen gehören, werden der Empfangs- und Auswerteschaltung 28 zugeführt. In der Empfangs- und Auswerteschaltung 28 werden die von der Antenne 22 empfangenen Mikrowellen ausgewertet, um die an der Füllgutoberfläche reflektierten Echowellen zu bestimmen und deren Laufzeit zu messen. Aus der gemessenen Laufzeit zwischen dem Zeitpunkt der Aussendung eines Mikrowellenimpulses durch die Antenne 22 und dem Eintreffen des an der Füllgutoberfläche 16 reflektierten Echoimpulses an der Antenne 22 kann aufgrund der bekannten Ausbreitungsgeschwindigkeit der Mikrowellen die Entfernung D zwischen der Antenne 22 und der Füllgutoberfläche 16 berechnet werden. Die Füllhöhe F ergibt sich dann aus der Differenz zwischen der bekannten Einbauhöhe  $H_0$  der Antenne 22 über dem Behälterboden 12 und der gemessenen Entfernung D:

$$F = H_0 - D.$$

Zur Auswertung der empfangenen Mikrowellen in der Empfangs- und Auswerteschaltung 28 wird üblicherweise das Echoprofil der Mikrowellen aufgezeichnet, das bei einem Pulsradar durch die Hüllkurve der Mikrowellen gegeben ist. Das Diagramm dieser Hüllkurve H als Funktion der Laufzeit t oder, was auf das gleiche hinausläuft, der von den Mikrowellen zurückgelegten Strecke x ist in Fig. 1 rechts von dem Behälter 10 dargestellt, wobei die Zeitachse t bzw. die Entfernungsachse x senkrecht nach unten gerichtet ist, während die Ordinate, die die Amplitude der Hüllkurve H darstellt, nach rechts gerichtet ist. Diese Art der Darstellung macht den Zusammenhang zwischen der Hüllkurve und der zu messenden Füllhöhe F deutlich. Die Hüllkurve H hat fast in dem gesamten Entfernungsbereich zwischen der der maximalen Füllhöhe  $F_{\max}$  entsprechenden Entfernung  $D_{\min}$  bis zu der der Einbauhöhe  $H_0$  entsprechenden Entfernung  $D_L$ , die dem leeren Behälter entspricht und "Leerdistanz" genannt wird, einen verhältnismäßig niedrigen Wert R, der dem Rauschpegel entspricht; sie weist jedoch bei der Entfernung D, die dem Abstand der Füllgutoberfläche 16 von der Antenne 22 entspricht, eine wesentlich höhere Spitze E auf, die von den an der Füllgutoberfläche 16 reflektierten Echowellen stammt. Im Zeitmaßstab entspricht die Position der Echospitze E dem doppelten Wert der Laufzeit, die die Mikrowellen zum Durchlaufen der Strecke D benötigen, da sie diese Strecke von der Antenne 22 zur Füllgutoberfläche 16 und wieder zurück zur Antenne 22 zweimal durchlaufen müssen.

Zur Bestimmung des Nutzechos E in der Hüllkurve H können verschiedene Verfahren angewendet werden. Ein erstes Verfahren besteht darin, daß das Maximum der Hüllkurve bestimmt und diesem das Nutzecho zugeordnet wird. Nach einem anderen Verfahren wird zusätzlich zu dem Echo mit der größten Amplitude, also dem Maximum der Hüllkurve, auch das zeitlich zuerst eintreffende Echo bestimmt. Wenn die Amplitude di -

ses ersten Echos größer als die um  $\Delta$  in einstellbaren Faktor verringerte maximale Amplitude ist, wird das erste Echo als Nutzecho ausgewählt. Die Bedingung kann beispielsweise lauten, daß die Amplitude des ersten Echos größer als die um 20 dB verringerte maximale Amplitude sein muß. Die Bestimmung des Nutzechos erfolgt im normalen Meßbetrieb bei ganz oder teilweise gefülltem Behälter in dem Entfernungsbereich, der von der Entfernung 0 oder zumindest von der dem maximalen Füllstand entsprechenden Mindestentfernung  $D_{\min}$  bis zur Leerdistanz  $D_L$  geht. Demzufolge braucht die Hüllkurve H dann auch nur in diesem Bereich aufgezeichnet zu werden.

Fig. 2 zeigt die Anordnung von Fig. 1 für den Fall, daß der Behälter 10 vollständig leer ist. In diesem Fall werden die Mikrowellen am Behälterboden 12 reflektiert. Demzufolge müßte die Echospitze bei der Leerdistanz  $D_L$  liegen. In Fig. 2 liegt aber die Echospitze E' bei einer wesentlich größeren Entfernung D'. Dies ist darauf zurückzuführen, daß die Mikrowellen an dem gekrümmten Behälterboden aufgrund des von 90° verschiedenen Einfallswinkels nicht direkt entgegen der Einfallsrichtung zur Antenne 22 reflektiert werden, sondern erst nach mehrfachen Reflexionen an den Behälterwänden zur Antenne 22 gelangen.

Da in der Empfangs- und Auswerteschaltung 28, wie zuvor erläutert wurde, im normalen Meßbetrieb die Hüllkurve der empfangenen Mikrowellen nur im Entfernungsbereich bis zur Leerdistanz  $D_L$  ausgewertet wird, erscheint bei leerem Behälter infolge des gekrümmten Behälterbodens 12 in dem ausgewerteten Bereich... keine Echospitze, so daß einerseits nicht erkennbar ist, daß der Behälter 10 leer ist, und andererseits der Eindruck entsteht, daß das Entfernungsmeßgerät 20 ausgefallen ist.

Diese Erscheinungen werden durch die folgenden Maßnahmen vermieden:

1. Wenn bei der Auswertung der Hüllkurve H festgestellt wird, daß in dem ausgewerteten Entfernungsbereich bis zur Leerdistanz  $D_L$  kein Echo vorhanden ist, wird erneut eine Hüllkurve aufgezeichnet, jedoch für einen erweiterten Entfernungsbereich, der vorzugsweise dem maximalen Meßbereich des Entfernungsmeßgeräts entspricht. Wird bei der Auswertung der Hüllkurve in diesem erweiterten Entfernungsbereich jenseits der Leerdistanz  $D_L$  ein Echo festgestellt, wie das Echo E' in Fig. 2, so wird diesem Echo nicht die seiner Laufzeit entsprechende Entfernung D' zugeordnet, sondern die Leerdistanz  $D_L$ . Dadurch wird einerseits richtig angezeigt, daß der Behälter leer ist, und andererseits festgestellt, daß das Entfernungsmeßgerät 20 richtig arbeitet.

2. Wenn auch bei der Auswertung der Hüllkurve in dem erweiterten Entfernungsbereich kein Echo festgestellt wird, wird ein Fehlerzustand angezeigt.

Auf diese Weise wird erreicht, daß die Auswertung der empfangenen Mikrowellen, beispielsweise durch Aufzeichnung ihrer Hüllkurve, im normalen Meßbetrieb auf den Bereich beschränkt ist, der der Höhe des Behälters entspricht, daß aber bei leerem Behälter trotz des gekrümmten Behälterbodens der Leerzustand richtig angezeigt wird und die irrtümliche Anzeige eines Fehlerzustands vermieden wird.

Die Auswertung der empfangenen Mikrowellen in dem erweiterten Entfernungsbereich kann zusätzlich an die Bedingung geknüpft werden, daß der zuletzt gemessene Füllstand kleiner als ein Referenzfüllstand war, der beispielsweise 20 % des maximalen Füllstands beträgt. Hierdurch wird vermieden, daß der Auswertungsbereich gewechselt wird, wenn das Echo kurzzeitig verloren geht, beispielsweise wegen eines den Weg der Mikrowellen kreuzenden Rührwerks.

Die Entscheidung, ob in dem erweiterten Entfernungsbereich ein Echo festgestellt wird oder ob ein Fehlerzustand angezeigt wird, kann von einem einstellbaren Schwellwert abhängig gemacht werden. Der Schwellwert gibt einen Mindestwert für den Rauschabstand (Verhältnis Signal/Rauschen) an, den die Echoamplitude übersteigen muß, um als Echo akzeptiert zu werden. Der Schwellwert liegt typischerweise in der Größenordnung von 10 dB.

Fig. 2 läßt auch die Definition der Leerdistanz  $D_L$  erkennen. Sie entspricht der Entfernung von der Antenne 22 bis zu dem Punkt des gekrümmten Behälterbodens, an dem die von der Antenne 22 gesendeten Mikrowellen auftreten und reflektiert werden. Diese Entfernung ist die maximale Entfernung, die mittels der Antenne 22 in dem Behälter 10 gemessen werden kann. Die durch den Auftreffpunkt gehende horizontale Ebene ist auch die Bezugsebene für die Füllhöhe F und die Einbauhöhe  $H_0$ . Der Behälter 10 gilt als leer, wenn die Füllgutoberfläche 16 in oder unter dieser Bezugsebene liegt.

Bei dem zuvor beschriebenen Ausführungsbeispiel erfolgt die Füllstandsmessung nach dem Pulsradarprinzip. Die Erfindung ist jedoch nicht auf diesen Fall beschränkt, sondern auch für andere nach dem Radarprinzip arbeitenden Verfahren geeignet, insbesondere für solche, bei denen ein Echoprofil erstellt werden kann. Dies gilt insbesondere für das FMCW-Radar (Frequenzmodulations-Dauerstrichradar). Bei dem FMCW-Verfahren wird eine kontinuierliche Mikrowelle ausgesendet, die periodisch linear frequenzmoduliert ist, beispielsweise nach einer Sägezahnfunktion. Die Frequenz jedes empfangenen Echosignals weist daher gegenüber der Augenblicksfrequenz, die das Sendesignal im Zeitpunkt des Empfangs hat, eine Frequenzdifferenz auf, die von der Laufzeit des Echosignals abhängt. Die Frequenzdifferenz zwischen Sendesignal und Empfangssignal, die durch Mischung beider Signale und Auswertung des Fourierspektrums des Mischsignals gewonnen werden kann, entspricht somit dem Abstand der reflektierenden Fläche von der

Antenne, und die Höhe der Frequenzkennlinie entspricht der Größe der Echoamplitude. Dieses Fourier-spektrum stellt daher in diesem Fall das Echoprofil dar, das in gleicher Weise wie das beim Pulsradar erhaltenes Echoprofil ausgewertet werden kann.

5

ten Entfernungsbereich nur solche empfangenen Mikrowellen als Echowellen festgestellt werden, deren Amplitude einen vorgegebenen Schwellwert übersteigt.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Messung des Füllstands eines Füllguts in einem Behälter nach dem Radarprinzip, bei welchem mittels der oberhalb der höchsten vorkommenden Füllhöhe angeordneten Antenne eines Entfernungsmessgeräts Mikrowellen nach unten ausgestrahlt und reflektierte Mikrowellen empfangen werden und die empfangenen Mikrowellen zur Bestimmung der an der Füllgutoberfläche reflektierten Echowellen, zur Messung der Laufzeit der Echowellen und zur Berechnung der Entfernung der Füllgutoberfläche von der Antenne des Entfernungsmessgeräts aus der gemessenen Laufzeit ausgewertet werden, dadurch gekennzeichnet, daß im normalen Meßbetrieb die empfangenen Mikrowellen in dem Entfernungsbereich bis zu der dem Abstand der Antenne des Entfernungsmessgeräts vom Behälterboden entsprechenden Leerdistanz ausgewertet werden, und daß dann, wenn in diesem Entfernungsbereich keine Echowellen festgestellt werden, die Auswertung in einem erweiterten Entfernungsbereich erfolgt und die in diesem erweiterten Entfernungsbereich jenseits der Leerdistanz festgestellten Echowellen der Leerdistanz zugeordnet werden. 10 15 20 25 30
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der erweiterte Entfernungsbereich dem maximalen Entfernungsbereich des Entfernungsmessgeräts entspricht. 35
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß zur Auswertung der empfangenen Mikrowellen deren Echoprofil in dem für die Auswertung vorgesehenen Entfernungsbereich aufgezeichnet wird. 40
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswertung in dem erweiterten Entfernungsbereich nur dann erfolgt, wenn der zuvor gemessene Füllstand kleiner als ein vorgegebener Referenzfüllstand war. 45 50
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Fehlerzustand angezeigt wird, wenn in dem erweiterten Entfernungsbereich keine Echowellen festgestellt werden. 55
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in dem erweiter-

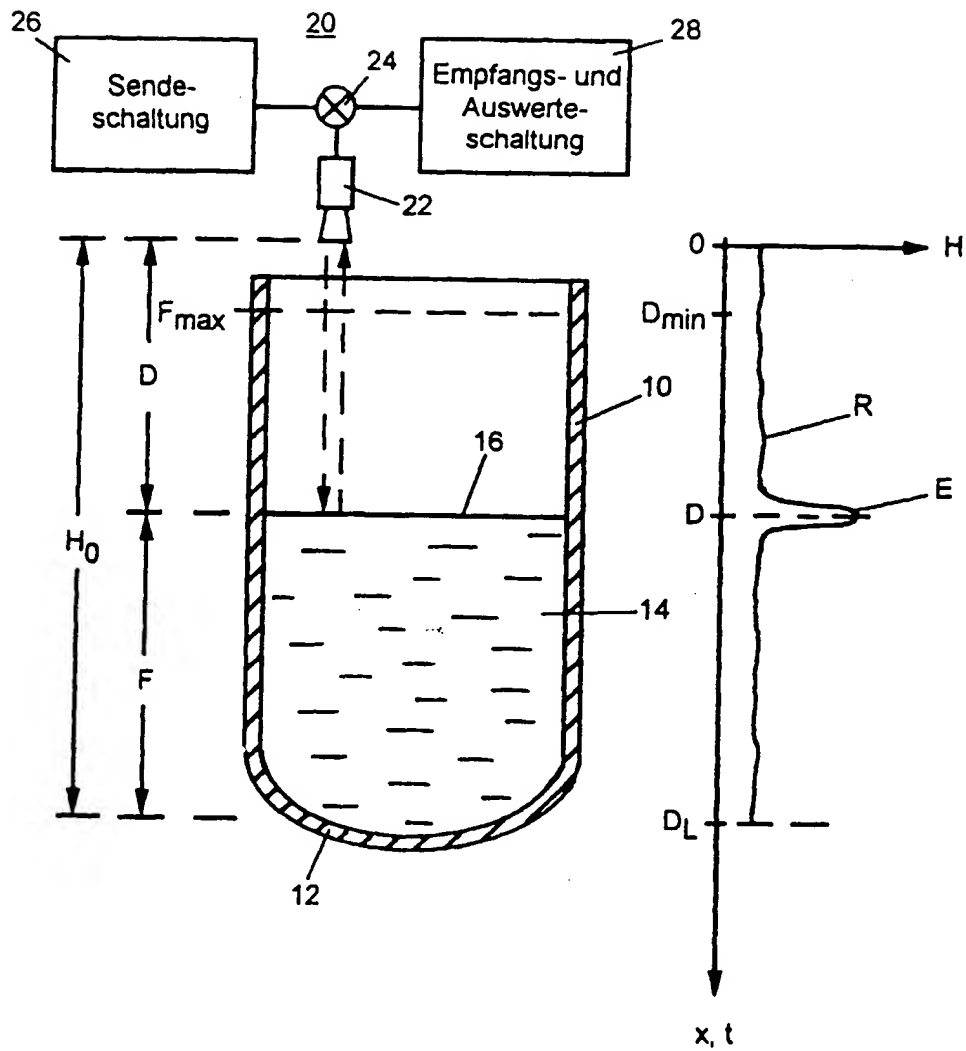


Fig. 1

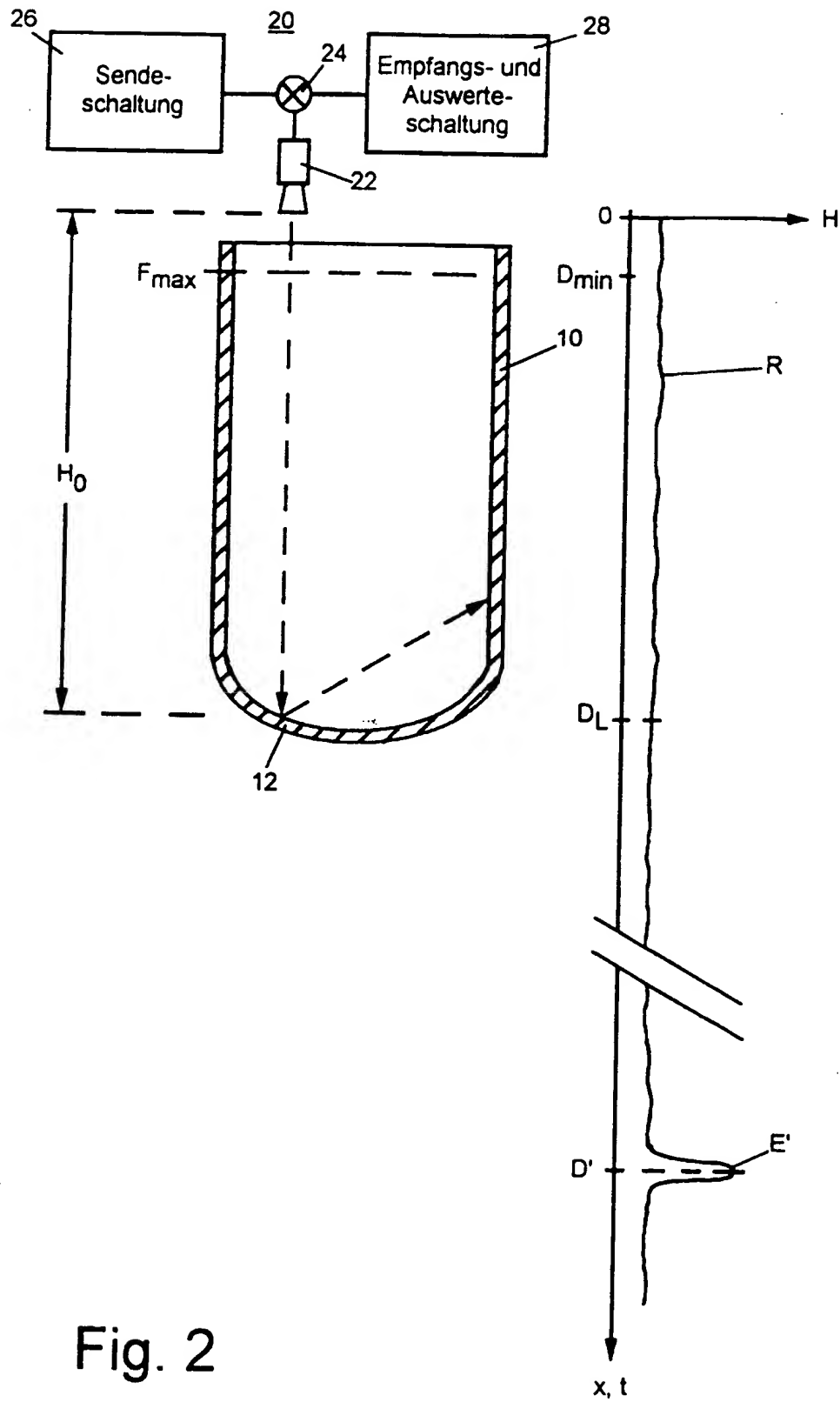


Fig. 2

European Patent No. 0,882,957 A2

---

Translated from German by the Ralph McElroy Co., Custom Division  
P.O. Box 4828, Austin, Texas 78765 USA



Code: 1454-67107

Ref.: R11.11-583

EUROPEAN PATENT OFFICE  
PATENT NO. 0,882,957 A2

Int. Cl. <sup>6</sup> :	G 01 F 23/284
Application No.:	98109742.1
Filing Date:	May 28, 1998
Publication Date:	December 9, 1998; Patent Bulletin 1998/50
Priority:	
Date:	June 5, 1997
Country:	Germany
No.:	19723646
Designated Contracting States:	Austria, Belgium, Switzerland, Cyprus, Germany, Denmark, Spain, Finland, France, United Kingdom, Greece, Ireland, Italy, Liechtenstein, Luxembourg, Monaco, Netherlands, Portugal, Sweden
Designated Extension States:	Albania, Lithuania, Latvia, Macedonia, Romania, Slovenia

METHOD FOR THE MEASUREMENT OF THE LEVEL OF A FILLER IN A  
CONTAINER ACCORDING TO THE RADAR PRINCIPLE

Inventors:

Carsten Fitsch  
79713 Bad Säckingen

Wolfgang Lubcke  
79585 Steinen

Peter Gerst  
79576 Weil/Rhein

Jürgen Lau  
79541 Lörrach (Germany)

Applicant:

Endress + Hauser GmbH + Co.,  
79689 Maulburg (Germany)

Agent:

Karl-Heinz Schwepfinger,  
Prinz & Partner GbR,  
Manzingerweg 7,  
81241 Munich (Germany)

To measure the level of a filler in a container according to the radar principle, microwaves are radiated downwards and reflected microwaves are received by means of the antenna of a distance measuring apparatus, which is located above the highest filling height that can occur. In a normal measurement operation, the received microwaves are evaluated in the distance zone up to the empty distance corresponding to the distance between the antenna and the bottom of the container, in order to determine the echo waves reflected from the surface of the filler, to measure the travel time of the echo waves, and to calculate the distance between the filler surface and the antenna from the



## Description

The invention concerns a method for measuring the level of a filler in a container according to the radar principle, in which microwaves are radiated downwards and reflected microwaves are received by means of the antenna of a distance measuring apparatus located above the highest level that can occur, and the received microwaves are evaluated for the determination of the echo waves reflected from the surface of the filler, for the measurement of the travel time of the echo waves, and for the calculation of the distance between the filler surface and the antenna of the distance measuring apparatus from the measured travel time.

The level in the container to be measured is either the filling height--that is, the height of the filler surface above the container bottom, or the filler volume. The previously indicated known method gives the filling height directly as the difference between the known installation height of the antenna above the container bottom and the measured distance of the filler surface from the antenna. The filler volume, for each container, has a clear relationship with the filling height and is produced therefore from the measured filling height.

If the container is empty when using this method, the microwaves are reflected from the bottom of the container instead of from the filler surface. This does not cause any problems if the bottom of the container is flat. The microwaves are reflected directly to the antenna in this case, and their travel time corresponds to the distance between the antenna and the bottom of the container; this distance is called the empty distance. Since the empty distance is the greatest occurring distance, the

evaluation of the microwaves in the distance measuring apparatus needs to take place only in the distance zone which goes up to this empty distance.

However, if this method is applied to a container with a curved container bottom, for example, with a so-called Pressure head, the microwaves in the empty container are not reflected directly to the antenna from the curved container bottom because the angle of incidence is different by  $90^\circ$ ; rather, they arrive at the antenna only after multiple reflections on the container walls. The travel time of the microwaves therefore corresponds to a distance which is substantially greater than the empty distance. If the evaluation of the received microwaves takes place only in the distance zone which goes up to the empty distance, no echo waves at all are determined in this case; the distance measuring apparatus therefore does not show the empty state of the container but rather a state of error.

To solve this problem, the evaluation of the received microwaves, in containers with a curved container bottom, has always been carried out up to now in a distance zone that is significantly greater than the empty distance. All measured travel times of the echo waves which lie between the shortest travel time corresponding to the maximum level (100%) and a travel time corresponding to a very low level (for example, 0.1%) are correlated with the correct level; all greater travel times are correlated with a level of 0%.

One disadvantage of this previously applied solution is that a very large time or distance zone must always be measured--that is, also in a normal measurement operation with partially or completely filled containers.

The goal of the invention is the creation of a method of the type indicated above, in which, in a normal measurement operation with a partially or completely filled container with a curved container bottom, the evaluation of the received microwaves can be limited to the distance zone which goes up to the empty distance, and in which, nevertheless, the empty container state is reliably recognized and indicated.

According to the invention, this goal is attained with a normal measurement operation in which the received microwaves in the distance zone up to the empty distance corresponding to the distance between the antenna and the container bottom are evaluated, and if no echo waves are determined in this distance zone, the evaluation takes place in an extended distance zone and the echo waves determined in the extended distance zone beyond the empty distance are correlated with the empty distance.

In using the method in accordance with the invention, the evaluation of the received microwaves is always limited initially to the distance zone which ends with the empty distance. The evaluation takes place in the extended distance zone only if no echo waves are determined in the above distance zone, which is the case, in particular, with an empty container. If echo waves are determined in this extended distance zone beyond the empty distance, it is certain that they come from reflections from the curved container bottom and that the container is empty. If, on the other hand, no echo waves are determined in the extended distance zone either, then it is certain that a state of error exists, which can be indicated.

As soon as echo waves are again determined in the distance zone which goes up to the empty distance, then the extension of

the distance zone, which is thus limited to the relatively seldom special case of the empty container, is omitted.

The extended distance zone is dimensioned at least large enough so that all echo waves which are reflected from the curved container bottom and arrive at the antenna after multiple reflections are included therein. For simplification, the extended distance zone can be made equal to the maximum measurement zone of the distance measuring apparatus.

The advantage attained by the invention can be illustrated more clearly, if, in accordance with a preferred specific embodiment, to evaluate the received microwaves, their echo profile is recorded in the distance zone provided for the evaluation. In this case, the detection of the received microwaves and the recording of their echo profile are limited to the relatively small distance zone which goes up to the empty distance for the vast majority of measurement operations.

Other features and advantages of the invention result from the following description of an exemplified embodiment with the aid of figures. The figures show the following:

Figure 1 shows, schematically, an arrangement for the measurement of the level according to the radar principle in a container with a curved container bottom with a partially filled container; and

Figure 2, the arrangement of Figure 1 with an empty container.

Figure 1 shows a container 10 with a curved container bottom 12, for example, a so-called pressure head. The container 10 is filled up to a height F with a filler 14. Either the filling height F or the volume of the filler 14 corresponding to the filling height F are designated as the level in container 10. In

a container which has a constant cross section over its entire height, the filler volume is proportional to the filling height  $F$ ; in containers in which this requirement is not fulfilled, the connection between the filling height  $F$  and the filler volume can be determined by computation or experimentally and can be represented by a curve or table. In each case, the measurement of the filling height  $F$  is sufficient to determine the level in the container.

In the container 10 depicted in Figure 1, the measurement of the filling height  $F$  is carried out by a distance measuring apparatus 20 operating with microwaves according to the pulse radar principle. The distance measuring apparatus 20 contains a transmission and reception antenna 22, which is connected to a transmission circuit 26 and a reception and evaluation circuit 28 via a transmission-reception switch. At periodic time intervals, the transmission circuit 26 produces ultrahigh frequency pulses, which are conducted to the antenna 22. The antenna 22 is placed above the highest level  $F_{\max}$  that can occur in the container 10 so that it radiates the ultrahigh frequency pulses coming from the transmission circuit 26 in the form of microwaves vertically downwards, and receives microwaves coming from below. The microwaves received by the antenna 22, among which the echo waves reflected from the surface 16 of the filler 14 particularly belong, are conducted to the reception and evaluation circuit 28. In the reception and evaluation circuit 28, the microwaves received by the antenna 22 are evaluated, in order to determine the echo waves reflected from the filler surface and to measure their travel time. On the basis of the known propagation rate of the microwaves, the distance  $D$  between the antenna 22 and the filler surface 16 can be calculated from the measured travel time



between the timepoint of the transmission of a microwave pulse through the antenna 22 and the arrival of the echo pulse reflected from the filler surface 16 at the antenna 22. The filling height  $F$  is obtained then from the difference between the known installation height  $H_0$  of the antenna 22 above the container bottom 12 and the measured distance  $D$ :

$$F = H_0 - D.$$

To evaluate the received microwaves in the reception and evaluation circuit 28, the echo profile of the microwaves given with a pulse radar by the envelope curve of the microwaves is usually recorded. The diagram of this envelope curve  $H$  as a function of the travel time  $\tau$  or similarly, of the path  $x$  traced by the microwaves is shown in Figure 1, to the right of the container 10; the time axis  $t$  or the distance axis  $x$  is directed vertically downwards, whereas the ordinate, which represents the amplitude of the envelope curve  $H$ , is directed to the right. This type of representation makes clear the correlation between the envelope curve and the filling height  $F$  to be measured. The envelope curve  $H$  has a relatively low value  $R$ , which corresponds to the noise level, almost in the entire distance zone between the distance  $D_{\min}$ , corresponding to the maximum filling height  $F_{\max}$ , to the distance  $D_L$ , corresponding to the installation height  $H_0$ , which corresponds to the empty container and is called the "empty distance"; however, it exhibits a substantially higher peak  $E$ , which originates from the echo waves reflected from the filler surface 16, with the distance  $D$ , which corresponds to the distance between the filler surface 16 and the antenna 22. In the time scale, the position of the echo peak  $E$  corresponds to twice the value of the travel time required by the microwaves to traverse the path  $D$ , since they must traverse this path twice,

from the antenna 22 to the filler surface 16 and again back to the antenna 22.

To determine the useful echo E in the envelope curve H, various methods can be used. A first method consists in determining the maximum of the envelope curve and correlating this with the useful echo. According to another method, in addition to the echo with the greatest amplitude--that is, the maximum of the envelope curve, the chronologically first-arriving echo is also determined. If the amplitude of this first echo is greater than the maximum amplitude, reduced by an adjustable factor, the first echo is selected as the useful echo. The condition, for example, can be that the amplitude of the first echo must be greater than the maximum amplitude, reduced by 20 dB. The determination of the useful echo is carried out in a normal measurement operation with a completely or partially filled container in the distance zone that goes from the distance 0 or at least from the minimum distance  $D_{\min}$ , corresponding to the maximum level, to the empty distance  $D_L$ . Accordingly, the envelope curve H then needs to be recorded also only in this zone.

Figure 2 shows the arrangement of Figure 1 in which the container 10 is completely empty. In this case, the microwaves are reflected from the bottom of the container 12. Accordingly, the echo peak would have to lie in the empty distance  $D_L$ . In Figure 2, however, the echo peak E' is at a substantially greater distance  $D'$ . This can be attributed to the fact that the microwaves are not reflected to the antenna 22 directly opposite the direction of incidence from the curved container bottom, because of the angle of incidence, which is different from  $90^\circ$ ,

but rather arrive at the antenna 22 only after several reflections from the walls of the container.

Since, as was explained before, in a normal measurement operation, the envelope curve of the received microwaves is evaluated only in the distance zone up to the empty distance  $D_L$  in the reception and evaluation circuit 28, no echo peaks appear in the evaluated zone with an empty container because of the curved container bottom 12; therefore on the one hand, the container 10 cannot be recognized as empty, and on the other hand, the impression arises that the distance measuring apparatus 20 has broken.

These phenomena are avoided by the following measures:

1. If it is determined that an echo is not present in the evaluated distance zone up to the empty distance  $D_L$  during the evaluation of the envelope curve  $H$ , an envelope curve is again recorded, but instead for an extended distance zone that corresponds to the maximum measurement zone of the distance measuring apparatus. If an echo is determined during the evaluation of the envelope curve in this extended distance zone beyond the empty distance  $D_L$ , like the echo  $E'$  in Figure 2, this echo is not correlated with the distance  $D'$ , corresponding to its travel time, but rather with the empty distance  $D_L$ . In this way, there is, on the one hand, the correct indication that the container is empty, and on the other hand, it is determined that the distance measuring apparatus 20 is operating correctly.

2. If no echo is determined in the evaluation of the envelope curve in the extended distance zone either, then a state of error is indicated.

This makes it possible for the evaluation of the received microwaves, for example, by recording their envelope curve, to be

limited in a normal measurement operation to the zone which corresponds to the height of the container but to correctly indicate the empty state with an empty container despite the curved container bottom and to avoid the erroneous indication of a state of error.

The evaluation of the received microwaves in the extended distance zone can also be linked to a condition in which last measured level is lower than a reference level, which is, for example, 20% of the maximum level. This prevents the evaluation zone from changing if the echo is briefly lost, for example, because of a stirring apparatus crossing the path of the microwaves.

The decision whether an echo is determined in the extended distance zone or whether a state of error is indicated can be made dependent on an adjustable threshold value. The threshold value gives a minimum value for the noise distance (signal/noise ratio), which the echo amplitude must exceed to be accepted as an echo. The threshold value typically lies in the order of magnitude of 10 dB.

Figure 2 also permits the recognition of the definition of the empty distance  $D_L$ . It corresponds to the distance from the antenna 22 to the point of the curved container bottom where the microwaves emitted by the antenna 22 strike and are reflected. This distance is the maximum distance which can be measured in the container 10 by means of the antenna 22. The horizontal plane going through the impact point is also the reference plane for the filling height  $F$  and the installation height  $H_0$ . The container 10 is considered empty if the filler surface 16 lies in or below this reference plane.

In the previously described exemplified embodiment, level measurement is carried out according to the pulse radar principle. The invention, however, is not limited to this case, but rather is suitable also for other methods operating according to the radar principle, in particular, for those in which an echo profile can be defined. This is particularly true for FMCW radar (frequency modulation-continuous wave radar). With the FMCW method, continuous microwaves are transmitted that is periodically frequency-modulated linearly, for example, according to a saw-tooth function. The frequency of each received echo signal therefore exhibits a frequency difference which depends on the travel time of the echo signal, in comparison to the instantaneous frequency of the transmission signal at the time of reception. The frequency difference between the transmission signal and the reception signal, which can be obtained by mixing the two signals and the evaluation of the Fourier spectrum of the mixed signal, thus corresponds to the distance between the reflecting surface and the antenna, and the height of the frequency response characteristic corresponds to the magnitude of the echo amplitude. Therefore, this Fourier spectrum is the echo profile in this case, which can be evaluated in the same manner as the echo profile obtained with pulse radar.

#### Claims

1. Method for measuring the level of a filler in a container according to the radar principle, in which by means of the antenna of a distance measuring apparatus placed above the highest filling height that can occur, microwaves are transmitted downwards and reflected microwaves are received, and the received

microwaves are evaluated for the determination of the echo waves reflected from the filler surface, for the measurement of the travel time of the echo waves, and for the calculation of the distance between the filler surface and the antenna of the distance measuring apparatus from the measured travel time, characterized in that in a normal measurement operation, the received microwaves are evaluated in the distance zone up to the empty distance corresponding to the distance between the antenna of the distance measuring apparatus and the container bottom, and in that if no echo waves are determined in this distance zone, then the evaluation takes place in an extended distance zone and the echo waves determined in this extended distance zone beyond the empty distance are correlated with the empty distance.

2. Method according to Claim 1, characterized in that the extended distance zone corresponds to the maximum distance measuring zone of the distance measuring apparatus.

3. Method according to Claim 1 or 2, characterized in that for the evaluation of the received microwaves, their echo profile is recorded in the distance zone provided for the evaluation.

4. Method according to one of the preceding claims, characterized in that the evaluation is carried out in the extended distance zone only if the previously measured level was lower than a prespecified reference level.

5. Method according to one of the preceding claims, characterized in that a state of error is indicated if no echo waves are determined in the extended distance zone.

6. Method according to one of the preceding claims, characterized in that in the extended distance zone, only those received microwaves whose amplitude exceeds a prespecified threshold are determined as echo waves.

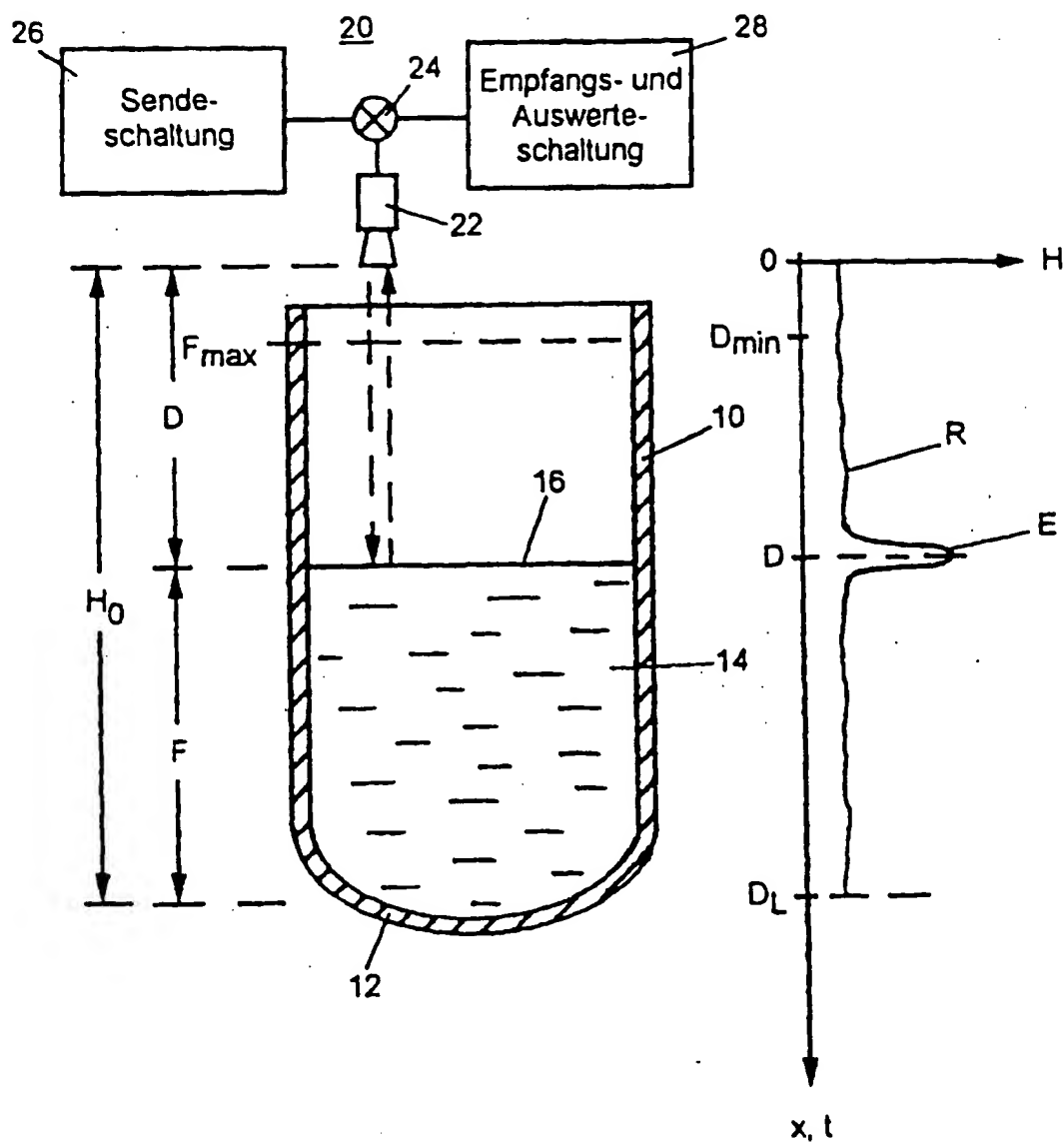


Figure 1

Key: 26    Transmission circuit  
      28    Reception and evaluation circuit

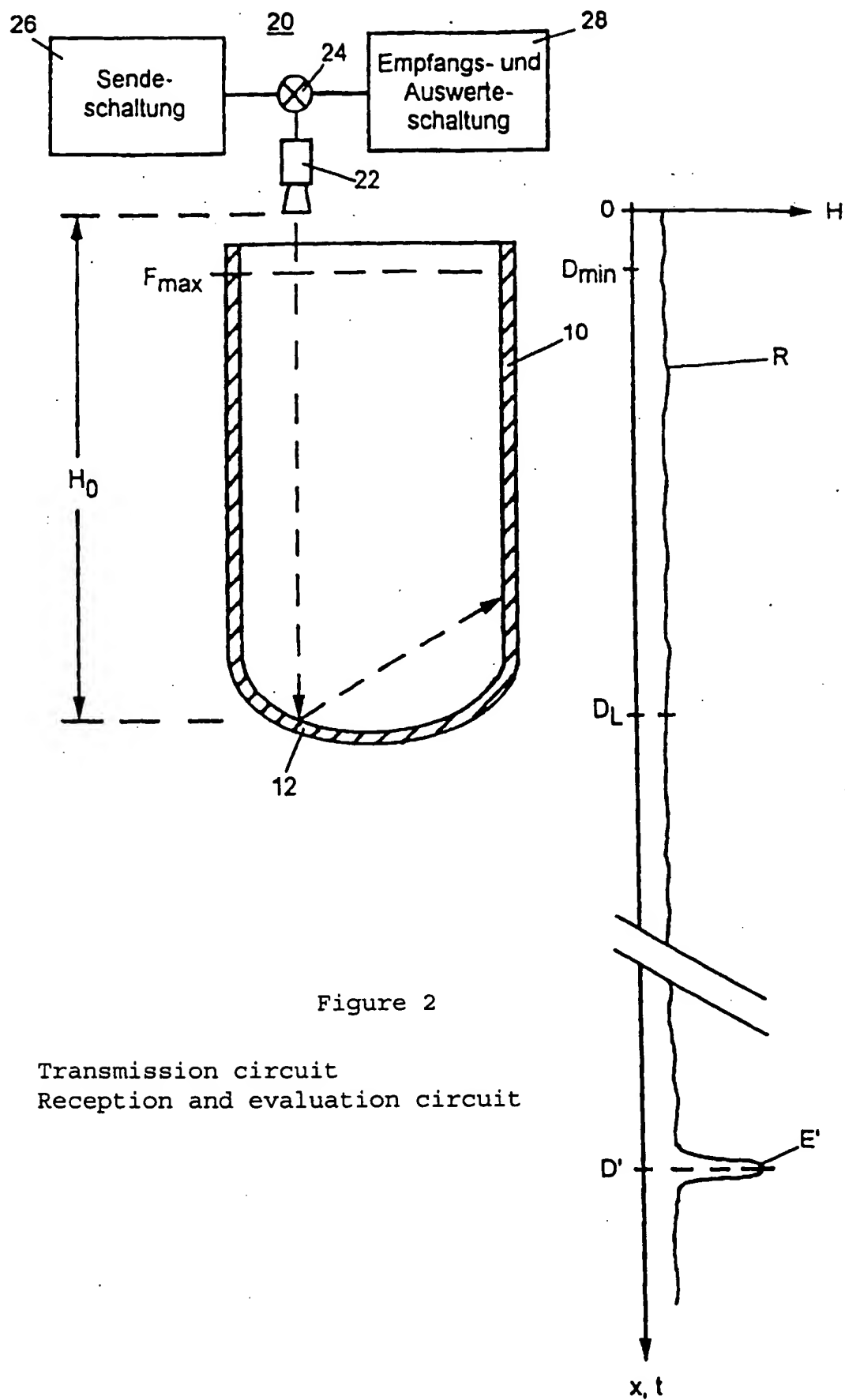


Figure 2

Key: 26 Transmission circuit  
 28 Reception and evaluation circuit